



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 37 009 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 S 13/60
G 01 S 7/295
G 01 R 23/16
// G08G 1/052

②1 Aktenzeichen: 196 37 009.4
②2 Anmeldetag: 12. 9. 96
④3 Offenlegungstag: 7. 5. 97

DE 196 37 009 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
02.11.95 DE 195407245

⑦1 Anmelder:
Daimler-Benz Aerospace Aktiengesellschaft, 81663
München, DE

⑦2 Erfinder:
Elterich, Andreas, Dipl.-Ing., 89081 Ulm, DE;
Kleinhempel, Werner, Dr., 89231 Neu-Ulm, DE

⑤4 Verfahren zur Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Objekts über Grund oder Wasser

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Objekts über Grund oder Wasser mittels eines Dopplerradarsensors mit nachgeschalteter Auswerteeinheit, bei welchem Verfahren aus dem Empfangssignal des Dopplerradarsensors in der Auswerteeinheit mit einem linearen Spektralanalyseverfahren Frequenz-Leistungsdichtespektren abgeleitet und in den einzelnen Leistungsdichtespektren der jeweilige Schwerpunkt ermittelt werden und anhand der ermittelten Schwerpunkte die Eigengeschwindigkeit der Objekte bestimmt wird. Um ein solches Verfahren mit möglichst geringem Aufwand bei gleichzeitig hoher Genauigkeit realisieren zu können, wird nach der Erfindung vorgeschlagen, daß zur Ermittlung des Schwerpunktes des jeweiligen Leistungsdichtespektrums nur diejenigen Spektralanteile ausgewertet werden, die einen vorgebbaren Amplituden-Grenzwert nicht überschreiten oder die innerhalb eines vorgegebenen beschränkten Nutz-Frequenzbereichs um den erwarteten Schwerpunkt des Leistungsdichtespektrums herumliegen, daß der erwartete Schwerpunkt eines Leistungsdichtespektrums im eingeschwungenen Zustand jeweils aus den jeweils vorhergegangenen Meßintervallen mit Hilfe eines modellangepaßten Vorhersagefilters gewonnen wird, daß die Breite des Nutz-Frequenzbereichs aus der Lage des erwarteten Schwerpunktes des Leistungsdichtespektrums und des Antennendiagramms des Dopplerradarsensors ermittelt wird oder der Amplituden-Grenzwert aus der geschätzten Rauschleistung im ...

DE 196 37 009 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Objekts über Grund oder Wasser gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ein solches Verfahren ist bereits aus dem Artikel von W. Kleinhempel, W. Stammeler und D. Bergmann: "Radar Signal Processing for Vehicle Speed Measurements"; in: Proceedings of EUSIPCO '92, S. 1829—1832 bekannt.

Verfahren dieser Art werden beispielsweise eingesetzt, um automatische Brems(ABS) — bzw. Schlupfregelungs(ASR)-Systeme zu optimieren oder um die Position von Fahrzeugen (zu Land, Wasser oder in der Luft) zu bestimmen, die ihre Position normalerweise über ein Global-Positionierungs-System (GPS) im Rahmen eines Verkehrsleitsystems bestimmen und kurzzeitig den Kontakt zu GPS-Satelliten verloren haben (z. B. infolge von Abschattungs-Effekten) oder um die Position von Schienenfahrzeugen, z. B. im Bahnhofsbereich oder in Tunneln, zu bestimmen. Sie stellen aber auch eine genauere Alternative zu herkömmlichen Geschwindigkeitsmeßmethoden bei Kraftfahrzeugen dar, die die Geschwindigkeit aus der ermittelten Raddrehzahl ableiten (vgl. hierzu z. B. den Firmenprospekt der Firma Peiseler "System Peiseler-Rad" (v-t-s-Druck, Wolfsburg, 1990).

Bekannt sind Verfahren, die die Eigengeschwindigkeit des Objekts (Kraftfahrzeug, Wasserfahrzeug, Luftfahrzeug) über Grund (oder Wasser) mittels eines Dopplerradarsensors mit nachgeschalteter Auswerteeinheit ermitteln. Dabei wird das Empfangssignal des Dopplerradarsensors in der Auswerteeinheit z. B. entweder direkt als Zeitsignal ausgewertet oder alternativ hierzu zunächst in den Frequenzbereich transformiert und dort das entsprechende Leistungsdichtespektrum gebildet. Aus diesem Spektrum wird anschließend die Eigengeschwindigkeit des Objekts über Grund bzw. Wasser bestimmt.

Zur Anwendung kommen im allgemeinen drei Verfahren:

- zum einen Nullstellen-Zählverfahren, wie z. B. in dem Artikel von F. Mesch: "Vehicle Ground Speed Measurement by Radar Systems"; in: IMEKO XII Congress, Beijing, Sept. 1991, Seiten 1 bis 8, beschrieben werden,
- zum anderen lineare Spektralanalyseverfahren mit anschließender Korrelation, wie sie beispielsweise in dem eingangs genannten Artikel von W. Kleinhempel et al. oder in der DE 41 28 560 A1 beschrieben werden,
- zum dritten wurde bereits vorgeschlagen, nicht-lineare Schätzverfahren zu verwenden.

Die Verfahren sind allgemein bekannt und an sich nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung und werden daher im einzelnen nicht weiter erläutert, sondern statt dessen auf den Inhalt der zitierten Literaturstellen Bezug genommen.

Die bekannten Nullstellen-Zählverfahren sind im allgemeinen nicht sehr genau und wenig robust gegenüber Störungen.

Die bekannten linearen Spektralanalyseverfahren mit anschließender Korrelation bzw. die nichtlinearen Spektralanalyseverfahren sind zwar relativ genau und robust gegenüber Störungen, erfordern aber einen großen Realisierungsaufwand (vgl. hierzu den Artikel von A. Elterich und W. Kleinhempel: "Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der Geschwindigkeit

über Grund mit einem Dopplerradar"; in: Proceedings DGON '93, 8. Radarsymposium, Neubiberg, Sept. 1993, Seiten 18 bis 24).

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Objekts über Grund oder Wasser anzugeben, das auf der linearen Spektralanalyse beruht und mit möglichst geringem Aufwand eine möglichst hohe Genauigkeit in der Bestimmung der Geschwindigkeit erlaubt.

Die erfindungsgemäße Lösung ist durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 wiedergegeben. Die übrigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

Ein erster Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, daß mit einem relativ geringen Realisierungsaufwand eine hohe Genauigkeit bei der Bestimmung der Eigengeschwindigkeit des Objekts erzielt werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß das Verfahren sehr robust ist gegenüber Störungen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Das Verfahren basiert auf dem Prinzip der linearen Spektralanalyse, wie sie beispielsweise in Form der Fourier-Transformation bzw. der Fast-Fourier-Transformation (FFT) allgemein bekannt ist. Leitet man direkt die Eigengeschwindigkeit des Objekts über Grund bzw. Wasser aus dem Maximum oder dem Schwerpunkt des Leistungsdichtespektrums ab (das in an sich bekannter Weise mittels eines linearen Spektralanalyseverfahrens (z. B. FFT) aus dem Empfangssignal des Dopplerradarsensors abgeleitet worden ist), so erhält man einen relativ ungenauen Schätzwert der Eigengeschwindigkeit. Eine Reduktion der Varianz der geschätzten Spektralwerte — und damit der Geschwindigkeit — durch Mitteilung nach der an sich bekannten Welch-Methode (vgl. hierzu z. B.: Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer: "Digital Signal Processing", Kap. 11, S. 553—554, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975) oder durch Korrelation mit den erwarteten Leistungsdichtespektralen (LDS) (vgl. hierzu DE 41 28 560 A1) erfordert einen relativ großen Realisierungsaufwand.

Bestimmt man den Schwerpunkt des Spektrums aus allen Spektralwerten, so haben Störungen mit steigendem Frequenzabstand zum wahren Schwerpunkt des Nutzspektrums einen steigenden Einfluß auf die geschätzte Lage des Schwerpunktes des Nutzspektrums. Zusätzlich verursacht das additive Rauschen einen Fehleroffset, der von der Frequenzlage des Doppler-Nutzspektrums im betrachteten Frequenzbereich, z. B.

— $f_s/2 \dots f_s/2$, wobei f_s die Abtastfrequenz ist, abhängt.

Nimmt man jedoch zur Schwerpunktbestimmung nur Spektralanteile, die eine vorgegebene Amplitudengrenze überschreiten und/oder innerhalb eines gewissen Frequenzbereiches (z. B. symmetrisch um den erwarteten Schwerpunkt) liegen, so erhält man ohne einen erheblichen zusätzlichen Realisierungsaufwand eine merkliche Verbesserung der Geschwindigkeitsschätzung. Eine fest vorgegebene Amplitudengrenze, z. B. 15 dB unterhalb des Maximalwerts des LDS, wurde schon in dem Artikel von D. Sirmans, B. Bumgarner: "Numerical Comparison of Five Mean Frequency Estimators"; in Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, Sept. 1975, S. 991—1003 vorgeschlagen.

Ohne weitere Maßnahmen führt dies zwar zu einer Reduktion der Varianz des Fehlers der Geschwindigkeitsschätzung, aber auch zu einem Fehleroffset, wie dies bereits in dem zuvor genannten Artikel von D. Sirmans und B. Bumgarner beschrieben wird.

Durch Adaption der Amplitudengrenze an das S/N-Verhältnis erreicht man eine weitere Reduktion der Varianz des Fehlers der Geschwindigkeits-Schätzung. Der Fehleroffset läßt sich, da bekannt, aus den Schätzwerten für die Geschwindigkeit herausrechnen.

Der erwartete Schwerpunkt des Nutz-Frequenzbereichs in Leistungsdichtespektren ergibt sich im eingeschwungenen Zustand aus den vorherigen Meßintervallen mit Hilfe eines modellangepaßten Vorhersagefilter (z. B. Kalman-Filter). Die Breite des Nutz-Frequenzbereichs läßt sich nach DE 41 28 560 A1 in bekannter Weise aus der Lage des Schwerpunktes und der Kenntnis des Antennendiagrammes berechnen. Der auszuwertende Frequenzbereich ergibt sich aus der Breite des Nutz-Frequenzbereichs unter Beachtung der Genauigkeit des vorhergesagten Schwerpunktes.

Es versteht sich, daß die Erfindung nicht auf das geschilderte Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern vielmehr sinngemäß auch auf andere übertragbar ist.

So ist es z. B. denkbar, anstelle der Fourier-Transformation eine Wavelet-Transformation durchzuführen (vgl. hierzu z. B.: I. Daubechies: "The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis"; in: IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 36, No. 5, Sept. 1990, S. 961 — 1005).

Ferner ist es möglich, vor der Schwerpunktbestimmung die geschätzte Rauschleistungsdichte von dem Leistungsdichtespektrum zu subtrahieren.

dadurch gekennzeichnet, daß der Amplituden-Grenzwert aus der mittleren Leistung außerhalb des Nutz-Frequenzbereichs des Leistungsdichtespektrums abgeleitet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Schwerpunktsbestimmung die geschätzte konstante Rauschleistungsdichte von dem Leistungsdichtespektrum subtrahiert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Eigengeschwindigkeit eines Objekts über Grund oder Wasser mittels eines Dopplerradarsensors mit nachgeschalteter Auswerteeinheit, bei welchem Verfahren aus dem Empfangssignal des Dopplerradarsensors in der Auswerteeinheit mit einem linearen Spektralanalyseverfahren Frequenz-Leistungsdichte-Spektren abgeleitet und in den einzelnen Leistungsdichtespektren der jeweilige Schwerpunkt ermittelt werden und anhand der ermittelten Schwerpunkte die Eigengeschwindigkeit der Objekte bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet,**

— daß zur Ermittlung des Schwerpunktes des jeweiligen Leistungsdichtespektrums nur diejenigen Spektralanteile ausgewertet werden, die einen vorgebbaren Amplituden-Grenzwert nicht überschreiten oder die innerhalb eines vorgegebenen beschränkten Nutz-Frequenzbereich um den erwarteten Schwerpunkt des Leistungsdichtespektrums herumliegen,

— daß der erwartete Schwerpunkt eines Leistungsdichtespektrums im eingeschwungenen Zustand jeweils aus den jeweils vorhergegangenen Meßintervallen mit Hilfe eines modellangepaßten Vorhersagefilters gewonnen wird,

— daß die Breite des Nutz-Frequenzbereichs aus der Lage des erwarteten Schwerpunktes des Leistungsdichtespektrums und des Antennendiagramms des Dopplerradarsensors ermittelt wird oder daß der Amplituden-Grenzwert aus der geschätzten Rauschleistung im Leistungsdichtespektrum abgeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Vorhersagefilter ein Kalmanfilter verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

- Leerseite -